

CARACTERIZAÇÃO E SELETIVIDADE DE ADSORÇÃO DA TURFA POR CROMO, CÁDMIO, NÍQUEL E COBRE

Vitória M. M. Moraes¹; Mércia C. F. Silva²; Laisa F. S. Ferreira¹; Iramaia C. Bellin¹

1 Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, Sergipe, Brasil

2 Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, Sergipe, Brasil

Palavras-Chave: Planejamento fatorial, metais, adsorvente.

Introdução

Após a revolução industrial, modelos de produção com subprodutos e resíduos derivados de indústrias como têxtil, metalúrgica e plástica tem crescido exponencialmente de acordo com a demanda de inovação econômica (Vanitha et al, 2018).

De acordo com Shivani (2022) devido aos avanços do mundo industrializado a contaminação da água por corantes, metais, microrganismos nocivos e outros produtos químicos, até 2030, estima-se que a demanda global por água doce ultrapassará a oferta em 40%, resultando em uma crise hídrica iminente. Este cenário alarmante é impulsionado pelo aumento populacional, crescimento econômico e mudanças climáticas, que intensificam a pressão sobre os recursos hídricos disponíveis (Shivani et al, 2022).

Deste modo, substâncias contaminantes ou subprodutos podem e devem ser removidos das águas residuais de várias maneiras. Os métodos utilizados para as remoções são selecionados de acordo com influência das características específicas da água a ser tratada, pelos contaminantes presentes e pelos requisitos regulatórios. Para alcançar a qualidade desejada, pode ser necessário integrar diferentes técnicas, garantindo a eficácia do tratamento e a proteção do meio ambiente. (Mema et al, 2023).

Os tratamentos de água podem ser divididos em diferentes métodos para garantir a remoção eficaz de contaminantes de modo a serem divididos em físico, químico, biológico. Os tratamentos físicos incluem processos como sedimentação, filtração e flutuação. Já o tratamento químico emprega reações químicas, como oxidação e outros processos, para eliminar contaminantes. O método biológico utiliza microrganismos para tratar a matéria orgânica presente na água. Além disso, os tratamentos avançados são projetados para remover contaminantes que não foram eliminados nas etapas anteriores, incluindo técnicas como osmose reversa e adsorção (Natarajan et al, 2018). Dentre esses processos, a adsorção é a mais amplamente utilizada devido à sua alta eficiência na remoção de contaminantes, à infraestrutura econômica e custo-benefício, à baixa necessidade de manutenção, à facilidade de operação e escalonamento, além de não gerar subprodutos (Kasturi et al, 2024) Este estudo foca especificamente na adsorção como um método de tratamento avançado.

Recentemente, a turfa tem sido amplamente utilizada como um adsorvente natural eficaz na remoção de diversas substâncias poluentes, incluindo metais potencialmente tóxicos e corantes de efluentes industriais.

A turfa é um material orgânico composto por restos vegetais parcialmente decompostos, que se acumulam em ambientes úmidos como turfeiras. Ela possui características desenvolvidas para a adsorção, como alta porosidade, grande área superficial e presença de grupos funcionais que atuam como locais de ligação para contaminantes.

Estudos demonstraram a capacidade da turfa em remover eficientemente metais potencialmente tóxicos, como chumbo, cádmio, cromo e cobre, de soluções aquosas. Isso

ocorre devido à interação entre os íons metálicos e os grupos funcionais ácidos presentes na estrutura da turfa, como carboxílicos e fenólicos. A eficiência da adsorção pode ser influenciada por fatores como pH, massa de adsorvente, tempo de contato e concentração inicial do metal (Charazinska et al, 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é caracterizar a turfa e através da aplicação do planejamento fatorial avaliar o desempenho dela pra adsorver os metais e a ordem de preferência em um sistema em competição.

Material e Métodos

A amostra de turfa foi coletada a uma profundidade de 0-20 cm na turfeira localizada em São Cristóvão – SE (-10.920985, -37.102549). A amostra foi seca em estufa com circulação de ar a 60 ± 5 °C até atingir massa constante. Após a secagem, a amostra foi peneirada em peneira com malha de 16 mesh e armazenadas (Vieira *et al.*, 2017). O teor de umidade foi determinado usando a turfa *in natura*, que foi seca em balança de umidade Shimadzu, modelo MOC – 120H, até alcançar massa constante, com uma taxa de variação de 0,05 %.

A determinação do teor de matéria orgânica, matéria inorgânica, cátions trocáveis e pH seguiu a metodologia descrita no manual de solos da Embrapa (Vieira *et al.*, 2017), os valores da capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) e soma das bases (SB) foram obtidos por meio de cálculos.

Para as análises de espectroscopia na região do infravermelho, foi utilizado espectrômetro FT-IR Spectrum Two da PerkinElmer, no laboratório do NEREES na SergipeTec. A amostra foi analisada utilizando pastilha de KBr e a varredura foi realizada na faixa espectral de 4000 cm^{-1} a 450 cm^{-1} , com uma resolução de 4 cm^{-1} e 20 varreduras por amostra.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi conduzida com o sistema MEV da Hitachi, modelo TM 3000. As análises foram realizadas com o equipamento operando em baixo vácuo, com uma voltagem de aceleração de 15 kV e uma corrente de filamento de 1850 mA.

Para avaliar estatisticamente a eficiência da turfa na remoção de metais, foi utilizado um planejamento fatorial completo 2^3 , com três fatores: concentração do metal, variação do pH da solução e massa da turfa. Cada fator foi analisado em dois níveis codificados (-1 e +1), além de um ponto central (0), conforme Tabela 1.

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
pH	3,5	6,0	8,0
Concentração de cada metal	1 mg L ⁻¹	1,5 mg L ⁻¹	2 mg L ⁻¹
Massa	1 g	1,5 g	2 g

Tabela 1 – Valores dos níveis codificados usados no planejamento fatorial para avaliar estatisticamente a eficiência da turfa na remoção de metais.

Foram realizados 9 ensaios para obter todas as combinações dos fatores propostos (Quadro 1). Os ensaios foram conduzidos com diferentes valores de pH, concentração de metais e massa da turfa, utilizando 25 mL de solução mantida sob agitação mecânica a 150 rpm por 6 horas a temperatura ambiente. Os resultados foram determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES), instalado no Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS) (Ahmad *et al.*, 2018).

Ensaio	pH	Concentração	Massa
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0

Quadro 1 – Matriz do planejamento fatorial completo 2³, avaliando diferentes valores de pH, concentração de metais e massa, utilizando 25 mL de solução mantidas sob agitação mecânica a 150 rpm por 6 horas a temperatura ambiente.

Resultados e Discussão

A turfa é um material orgânico proveniente da decomposição de substâncias químicas e biológicas derivadas de restos vegetais, presentes em locais alagadiços (Vieira *et al.*, 2017). A caracterização desse material foi realizada a partir da determinação do teor de matéria orgânica, teor de matéria inorgânica, teor de umidade e pH, os resultados dessas análises estão representados na Tabela 2.

Amostra	Teor de Matéria orgânica	Teor de matéria inorgânica	Teor de Umidade	pH
Turfa (0-20 cm)	29,82 %	70,18 %	68,6 %	5

Tabela 2 – valores de matéria orgânica, umidade e pH da turfa coletada na profundidade de 0 – 20 cm.

Os valores de pH da turfa podem variar de 3 a 6, Lima *et al.* (2022), classifica como podendo ser considerada altamente ácida (pH abaixo de 4,5), moderadamente ácida (pH de 4,5 – 5,5), ligeiramente ácida (pH de 5,5 – 7,0) e básica (superior a 7,0). A amostra de turfa analisada pode ser classificada como moderadamente ácida e está em conformidade com o valor encontrado por Lima (2017, citado por Lima *et al.*, 2022) em turfais tropicais coletadas em Cravinhos/SP. O valor do teor de umidade encontrado (68,6%) condiz com o esperado para a profundidade de 0 - 20 cm, assim como Lima *et al.* (2022), ao avaliar dois pontos distintos de turfa e apresentar valores de 50 a 70 % para a mesma profundidade. O teor de matéria orgânica identificado na turfa analisada foi de 29,82 %, os valores encontrados por Lima *et al.* (2022) para a profundidade de 0 -20 cm foi de 39 % a 43 %, sendo considerados abaixo da média. Em contrapartida a amostra de turfa trabalhada por Crescêncio Júnior (2008, citado por Lima *et al.*, 2022) coletada em Resende/RJ apresentou teor de matéria orgânica de 32,5 % e foi obtido

experimentalmente uma maior capacidade de retenção de cádmio, comprovando que outros fatores podem ter sido mais importante que a matéria orgânica na imobilização desse material.

A capacidade de troca catiônica de um material diz respeito a quantidade de cátions que este pode adsorver e trocar. A força que faz um cátion ser atraído está relacionado a sua carga iônica, logo, íons com maior valência são mais fortemente atraídos pelo material (De Aguiar *et al.*, 2002). A Tabela 3 mostra os valores encontrados para sódio, potássio, cálcio+magnésio e alumínio, obtidos experimentalmente, assim como a soma das bases (SB) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) obtidos por cálculos.

Na (mmol _c L ⁻¹)	K (mmol _c L ⁻¹)	Ca+Mg (mmol _c L ⁻¹)	Al (mmol _c L ⁻¹)	SB (mmol _c L ⁻¹)	CTC (mmol _c L ⁻¹)
média (desvio padrão)					
0,7040 (0,1900)	0,3363 (0,0650)	1,7958 (0,1973)	0,0185 (0,0000)	2,8361	2,8546

Tabela 3 – Valores de sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio SB = somas das bases e CTC = capacidade de troca de cátions efetiva, em mmol_c L⁻¹.

De Oliveira *et al.* (2021) apresenta dados encontrados para CTC de solos da bacia hidrográfica de médio curso do rio Teles Pires, classificando com valores variando de 0,8 – 1,0 mmol_c L⁻¹ como sendo muito bons, o resultado encontrado para a turfa (2,8546 mmol_c L⁻¹) foi superior.

A imagem resultante da microscopia eletrônica de varredura (Figura 1) foi produzida com magnificação de 1,2 k da amostra de turfa *in natura*. E com ela é possível observar a irregularidade do material e a presença de macroporos, assim como Rezanezhad *et al.* (2016) relata.

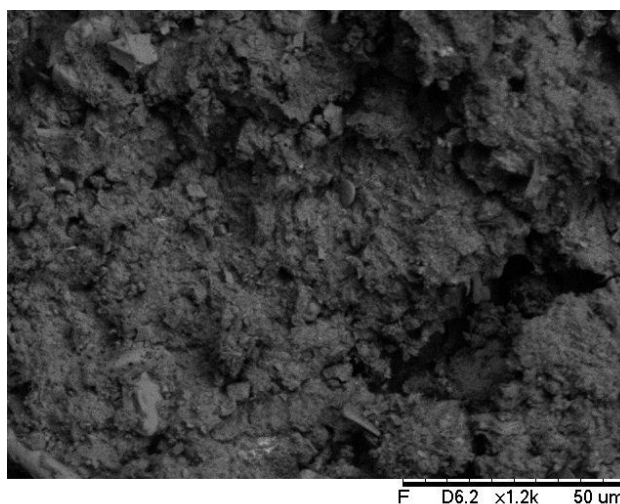


Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da turfa *in natura*.

A micrografia indica a existência de uma área superficial porosa suscetível ao ataque dos cátions metálicos, sendo crucial para que os metais sejam adsorvidos (Silva *et al.*, 2007; Aljumaili e Abdul-Aziz, 2023).

Segundo Nunes e Rezende (2022), a interação turfa-metal realiza-se porque as Substâncias Húmicas possuem capacidade complexante entre elementos ou substâncias. Essa complexação é unicamente e exclusivamente promovida pela presença dos grupos funcionais em sua estrutura. Como as Substâncias Húmicas são formadas por constituintes orgânicos, sedimentos,

resíduos e microrganismos que realizam síntese de novos compostos, disponibilizando tais grupos funcionais.

Para identificar quais grupos funcionais foram essenciais no estímulo da adsorção, foi realizado a análise de espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (Figura 2).

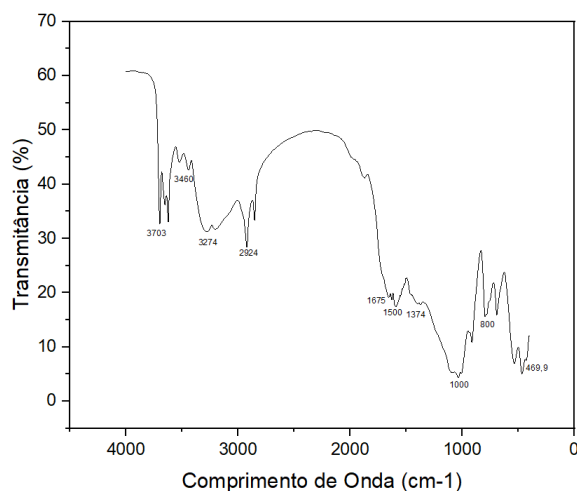


Figura 2 – Espectro vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) da turfa, faixa espectral entre 4000 cm^{-1} a 450 cm^{-1} .

Na turfa, foi observado um pico de comprimentos de onda em 3274 cm^{-1} que segundo, Aljumaili e Abdul-Aziz, (2023) mostram a existência do grupo OH, presentes em compostos fenólicos, bem como foram observados novos picos em 2924 cm^{-1} indicando a formação de C-H de aldeído (Lee et al, 2015), os picos em 1675 cm^{-1} estão diretamente relacionados ao estiramento C=O em cetonas, enquanto os picos em 1500 cm^{-1} foram causados pelo forte estiramento C=C (Aljumaili e Abdul-Aziz, 2023)

Além disso, o pico na região 1000 cm^{-1} foi atribuído ao possível estiramento do éter C-O-C (Ahmed *et al*, 2019). A faixa de comprimento de onda de 1374 cm^{-1} pode demonstrar a existência do estiramento da ligação C-N presente em composto de amina (Aljumaili e Abdul-Aziz, 2023). Nitidamente a turfa possui em sua superfície grupos funcionais necessários para que suceder a reação de adsorção.

Os ensaios de adsorção foram realizados utilizando o planejamento fatorial visando avaliar o comportamento da turfa frente a variação dos parâmetros que poderiam influenciar sua capacidade de adsorção assim como seu desempenho em condições de competição, em um ambiente com a presença de diversos metais, como: cromo, níquel, cobre, cádmio.

A Tabela 4 apresenta os dados de porcentagem de remoção de cada metal em seus respectivos ensaios de adsorção, em que foram variados o pH com valores variando de 3,5, 6,0 e 8,0 (representados por -, 0, +, respectivamente), concentração de cada metal com valores variando em 1 mg L^{-1} , $1,5\text{ mg L}^{-1}$, 2 mg L^{-1} (representados por -, 0, +, respectivamente), e massa da turfa, 1 g, 1,5 g, 2g (representados por -, 0, +, respectivamente), a relação de parâmetros com os valores codificados do planejamento fatorial estão dispostos na Tabela 1.

Ensaio	pH	Concentração de cada metal	Massa	Cromo	Níquel	Cobre	Cádmio
				%R			
1	-	-	-	98,21	100	98,26	98,69

2	+	-	-	95,17	95,79	96,24	97,63
3	-	+	-	98,48	96,24	98,76	96,89
4	+	+	-	94,85	96,73	95,27	98,87
5	-	-	+	100	100	99,49	100
6	+	-	+	100	100	99,39	100
7	-	+	+	99,46	98,69	99,34	99,26
8	+	+	+	100	100	99,19	100
9	0	0	0	100	99,21	98,64	98,27

Tabela 4 – Valores de remoção correlacionado com os respectivos ensaios de adsorção proveniente do planejamento fatorial

Os valores tabelados referentes aos ensaios 5 e 6 obtiveram valores muito semelhantes para todos os metais, havendo apenas uma variação de 0,10 % referente ao cobre, indicando que, para condições com uma alta concentração de massa da turfa para uma solução com baixa concentração dos metais disponíveis a variação do pH não foi significativa.

Avaliando os desempenhos dos ensaios 1, 9 e 8, que estão agrupados com todos os parâmetros com a mesma codificação, sendo o ensaio 1 com todos os parâmetros codificado no ponto inferior (com pH 3,5, concentração do metal 1 mg L^{-1} , e massa 1 g), o ensaio 9 codificados com o ponto central (pH 6,0, concentração $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, massa 1,5 g) e o ensaio 8 no ponto superior (pH 8,0, concentração 2 mg L^{-1} , massa 2 g). No ensaio 1, apenas o níquel obteve 100 % de remoção enquanto os outros metais apresentaram remoção de 98 %, no ensaio 9 foi possível observar que houve um aumento na porcentagem de remoção do cromo e para o cobre, quanto que para o níquel e cádmio foi registrado uma pequena queda. Ao avaliar o cenário do ensaio 8, o cromo se manteve constante enquanto os outros metais também aumentaram sua porcentagem de remoção.

Na Figura 3 encontram-se os dados presentes na Tabela 4 agrupando os resultados isolados de cada metal.

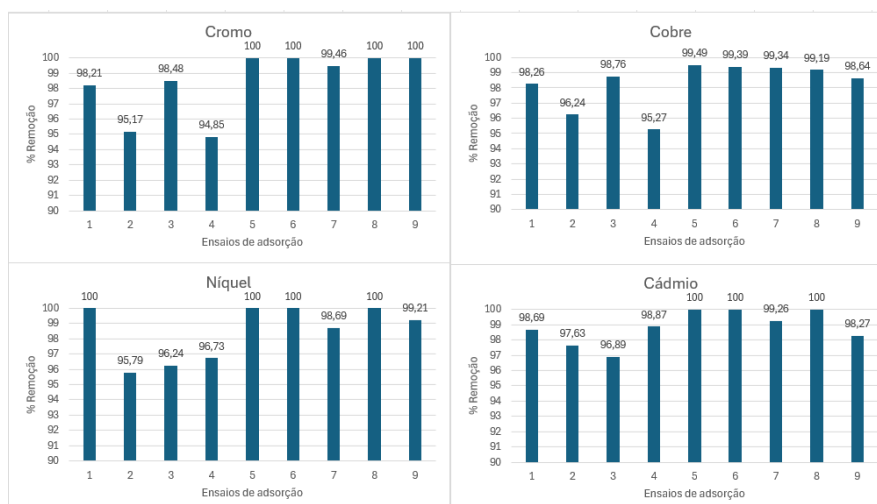


Figura 3 – Gráficos de porcentagem de remoção de cada metal (cromo, níquel, cobre e cádmio) por ensaio de adsorção.

Avaliando os gráficos da Figura 3, é evidenciado a preferência de remoção do cromo em relação aos outros metais, em cenários com maior concentração da turfa (ensaios 5 - 9). Já em comparação com os ensaios com menor massa (ensaios 1 - 4), é visível uma variação dos valores para todos os metais, com exceção do cádmio que obteve uma maior estabilidade de porcentagem de remoção frente a variação de todos os parâmetros.

A Figura 4 ilustra um gráfico comparativo de todos os metais relacionando os ensaios com variação de parâmetros e seus valores de remoção. Nesse gráfico é possível perceber a preferência da turfa em adsorver o cádmio em todos os cenários estudados, pois os resultados obtidos para esse metal apresentaram menor variação. O cobre foi o metal que menos foi adsorvido pela turfa, se sobressaindo dos demais metais apenas no ensaio 3 (pH 3,5, concentração 2 mg L^{-1} e massa 1 g). Os dados encontrados estão de acordo com resultados apresentados por Otaviano *et al.* (2020) e Cho *et al.* (2014), evidenciando que em um sistema de adsorção a turfa preferencialmente obedece a ordem $\text{Cd} > \text{Cu}$.

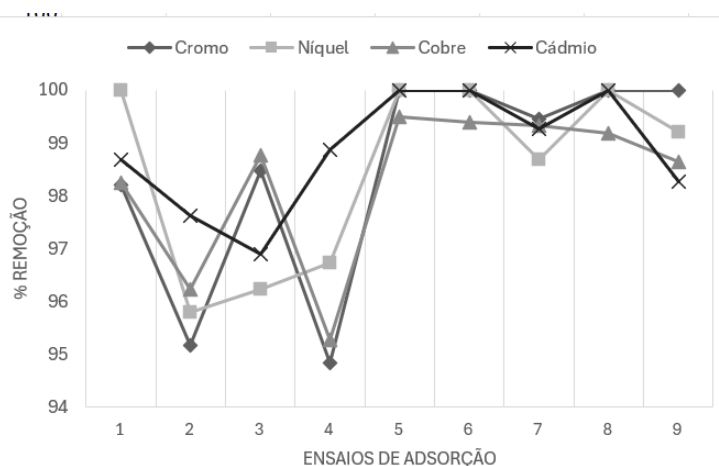


Figura 4 – Gráfico da porcentagem de remoção pelos ensaios de adsorção para todos os metais (cromo, níquel, cobre, cádmio).

O níquel iniciou os ensaios liderando a ordem de preferência, no entanto foi registrado uma queda na porcentagem de remoção ao aumentar o pH de 3,5 para 8,0 e mantendo massa e concentração constante (ensaios 1 e 2, respectivamente), o mesmo efeito foi observado em todos os metais. Na presença de uma concentração maior (2 mg L^{-1}) esse efeito do pH não é notado da mesma forma, nos ensaios 4 e 5, há o mesmo valor para concentração e massa (2 mg L^{-1} e 1 g), com pH 3,5 e 8,0, respectivamente, no entanto não é observado o mesmo efeito que nos ensaios 1 e 2 para todos os metais, apenas cromo e cobre se comportam da mesma forma (cai a porcentagem de remoção ao variar o pH em um sistema com pouca disponibilidade de adsorvente), e o níquel e cádmio sofrem um aumento. Avaliando a eficiência de adsorção geral da turfa, apesar dos valores encontrados serem todos acima de 94%, foi possível sugerir uma estimativa de preferência de adsorção da turfa sendo $\text{Cd} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cu}$.

A importância dos fatores pH, concentração de metais (mg L^{-1}) e massa de turfa (g) para o processo de adsorção dos metais pela tufa foi analisada por meio do diagrama de Pareto (Figuras 5), adotando um nível de significância de 95,0 %.

Notou-se que as variáveis apresentadas não superaram a linha de referência, indicando que, nas condições experimentais avaliadas, nenhum dos fatores mostrou um impacto estatisticamente significativo na eficiência de remoção dos metais pela turfa.

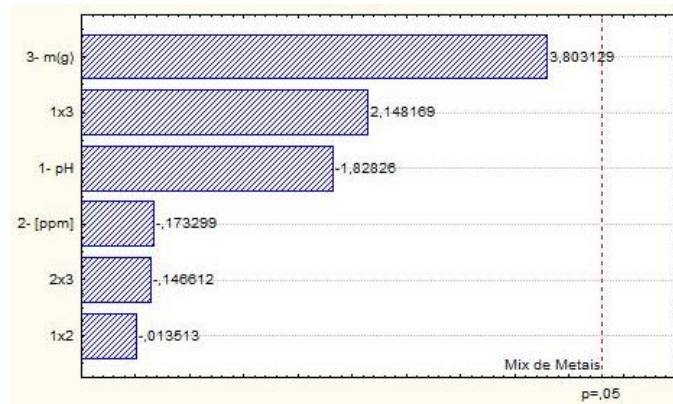


Figura 5 - Diagrama de Pareto para procedimento de adoção dos metais com a turfa.

Conclusões

Com base nas análises de caracterização realizadas foi determinado que apesar do teor de matéria orgânica ser considerado abaixo da média, a turfa apresentou porosidade, alta capacidade de troca de cátions e presença de diversos grupos funcionais que possibilitaram a adsorção. A turfa apresentou alta eficiência de adsorção, obtendo resultados superiores a 94 % para todos os metais. Em sistemas com alta quantidade de massa de turfa mesmo variando a concentração do metal e o pH não houve nenhuma influência. Em ambientes onde há pouca quantidade de turfa o pH influenciou diretamente a adsorção de todos os metais analisados, diminuindo a porcentagem de remoção, e ao variar a concentração de metais e pH nas condições de massa baixa o cádmio e o níquel sofreram um aumento na porcentagem de remoção, enquanto o cromo e o cobre diminuíram, levando a seguinte ordem de preferência de adsorção $Cd > Ni > Cr > Cu$.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa e à inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE) pelo apoio financeiro, à SergipeTec e ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS) pelas análises realizadas, ao Departamento de Química da Universidade Federal de Sergipe (DQI/UFS) pela infraestrutura disponível do Centro de Laboratórios de Química Multiusuários (CLQM).

Referências

- Ahmad, Z. Gaob, B., Mosac, A., Yud, H., Yine, X., Bashirf, A., Ghoveisib, H., Wangb, S. Removal of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by biochars derived from potassium-rich biomass. **Journal of Cleaner Production**, 180, 2018.
- Ahmed, M. B.; Johir, M. A. H.; Zhou, J. L.; Ngo, H. H.; Nghiem, L. D.; Richardson, C.; Moni, M. A.; Bryant, M. R. Activated carbon preparation from biomass feedstock: clean production and carbon dioxide adsorption. **Journal of Cleaner Production**, 225, 405-413, 2019.
- Aljumaili, M. M. N.; Abdul-aziz, Y. I. High surface area peat moss biochar and its potential for chromium mrtal adsorption from aqueous solutions. **South African Journal of Chemical Engineering**, 46, 22-34, 2023.
- CHARAZIŃSKA, S.; LOCHYŃSKI, P.; BURSZTA-ADAMIĄK, E. Removal of heavy metal ions form acidic electrolyte for stainless steel electropolishing via adsorption using Polish peats. **Journal of water process engineering**, 42, 102169, 2021.
- Cho, Y.; Kim, S.; Park, H.; Komarneni, S.; Hong, Y. Removal of inorganic pollutants in rainwater by a peat-derived porous material. **Journal of porous materials**, 1-8, 2014.

- Crescêncio Júnior, F. Estudo de turfas em laboratório como barreira reativa na remediação de aquíferos. Tese (Doutorado) - **UFRJ, COPPE**, 2008.
- De Aguiar, M. R. M. P.; Novaes, A. C.; Guarino, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, 25(6b), 1145-1154, 2002.
- De Oliveira, A. S.; Pierangeli, M. A. P.; De Sousa, J. B.; Lopes, H. S. S.; Galbiati, C.; De Souza, C. A.; Claudino, W. V. Caracterização morfológica, física e química de solos da bacia hidrográfica do médio curso do rio Teles Pires, no município de Alta Floresta/MT. **Research, Society and Development**, 10(9), 1-21, 2021.
- KATHERESAN, V.; KANSEDO, J.; LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of environmental chemical engineering**, 6(4), 4676–4697, 2018.
- Lee, S.; Park, J. H.; Ahn, Y.; Chung, J. W. Comparison of heavy metal adsorption by peat moss and peat moss-derived biochar produced under different carbonization conditions. **Water Air Soil Pollut**, 226(9), 1-11, 2015.
- Lima, J. Z. Caracterização geológica-geotécnica e estudo da adsorção de Pb, Zn e Cd por turfa e compostos orgânicos. Dissertação (Mestrado) - **EESC - USP**, 2017.
- Lima, J. Z.; Marques, J. P.; Sígolo, J. B.; Rodrigues, V. G. S. Caracterização de turfa tropical visando avaliar seu potencial como sorvente de baixo custo para elementos potencialmente tóxicos. **COBRAMSEG**, 20, 8054-8061, 2022.
- NATARAJAN, S.; BAJAJ, H. C.; TAYADE, R. J. Recent advances based on the synergetic effect of adsorption for removal of dyes from waste water using photocatalytic process. **Journal of environmental sciences**, 65, 201–222, 2018.
- Nunes, R. R.; Rezende, M. O. DE O. O solo estrutura e composição. **Editora Cubo**, 2022.
- Otaviano, J. J. S., Nascimento, J. M., Sousa, J. R. P., Oliveira, J. D. Adsorção simultânea e competitividade de cádmio e cobre em solos naturais e antropizados da cidade de Cajapió, Baixada Maranhense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 11(5), 2020.
- PODDAR, K.; SARKAR, D.; SARKAR, A. Norfloxacin adsorption by torrefied coco peat biochar as a novel adsorbent in a circular economy framework. **Environmental research**, 251, 2024.
- Rezanezhad, F.; Price, J. S.; Quinton, W. L.; Lennartz, B.; Milojevic, T.; Cappellen, P. V. Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists. **Chemical Geology**, 429, 75-84, 2016.
- Silva, V. L. M. M.; Gomes, W. C.; Alsina, O. L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **REMAP**, 2(1), 27-32, 2007.
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de Métodos de Análise de Solo. Brasília: **Embrapa**, 2017.
- VEDULA, S. S.; YADAV, G. D. Wastewater treatment containing methylene blue dye as pollutant using adsorption by chitosan lignin membrane: Development of membrane, characterization and kinetics of adsorption. **Journal of the Indian Chemical Society**, 99, 1, 2022.
- Vieira, E. M.; Dick, D. P.; Benetti, F.; Pigatin, L. B. F. Substâncias Húmicas e Matéria Orgânica Natural. São Carlos: **RiMa Editora**, 2017.